ゴマサバの視覚とその釣漁法への応用に関する基礎的研究—VI

釣獲時系列より推測される集魚灯下の魚群運動^{*1}

川 村 軍 蔵

(1978 年 12 月 15 日受理)

Fundamental Study on Application of the Vision of Spotted Mackerel,
Pneumatophorus tapeinocephalus (BLEEKER), to Angling Techniques—VI
Movement of Fish School Attracted to Fish Lamp Estimated
from the Time Series of Catch

Gunzo KAWAMURA^{*2}

Movement of the spotted mackerel attracted to the fish lamp was estimated from the time series of catch. The time series was analysed by the use of the Fourier transfer method, the autoregressive fitting model, and the De Lury's method. Each result of the calculation shows that the number of catch per unit time-interval fluctuates including short term periodic components. Though there is a possibility of a change of the school or the recruitment of a new school to an old one, the main reason of the periodic fluctuation is attributed to the movement of fish school. Hence, it is concluded that the spotted mackerel attracted actively moves in the area beneath the fish lamp and its surroundings, so the retinal light adaptation of fish attracted to the fish lamp does not change in spite of the extreme high underwater brightness beneath the fish lamp.

集魚灯下の表層は十分明るく、そこではね釣りや漁獲されるゴマサバの網膜は明順応していて良いはずであるが、実際に釣られた魚の網膜は暗順応が網膜の限られた部位のみ明順応しており、その原因として、魚群が集魚灯下周辺域を移動することが考えられた¹⁾。集魚灯下の海中の水平的な照度勾配は大きいので¹⁻³⁾、魚がこれを頻りに横切った場合には視覚にとつて非常に不都合な条件になる。集魚灯下における魚の視覚を論ずるには魚の行動に関する知見が不可欠であるので、本報では集魚灯下に集まったゴマサバ群の遊泳行動を検討する。なお、ここでいう魚群とは、時空間的に分離した漁獲対象の最小の単位となるゴマサバの集まりを意味する。

魚群が釣船の下を移動するならば、魚が船の直下の釣具垂下点に来た時には釣れるが、そこから魚が離れた時には釣れないであろうから、釣獲の時系列は魚群の動きを反映するであろう。この点に着目して、操業中に得られたゴマサバ釣獲時系列を自己相関法⁴⁾と1次元自己帰帰モデル⁵⁾を用いて周期解析した。さらに、同じ資料に

De Lury の方法⁶⁾を用いて CPUE の変動の解析をした。

観測方法および資料

釣獲資料の記録は鹿児島県、屋久島の一漁のサバ釣漁船 (19 トン) を調査船とし、1972 年 6 月と 8 月の操業時に乗船して行つた。数人の釣手による釣獲を自製の記録紙上にパルス信号として記録した。このパルス信号を 1 分間の回数として A-D 変換したものを観測系列として計算に供した。24 の資料が得られたが、はね釣りと天秤釣りが同時に行われた時のものを除き、16 の資料について解析した (Table 1)。

計 算 方 法

1 分間隔で資料化された M 個の観測値 $X(i)$ ($i=1, 2, \dots, M$) の観測系列を #9~#16 の 8 例について Fig. 1 に示した。 $X(i)$ の時系列から次式によりコログラムを計算し、パワースペクトルの推定を行つた。

^{*1} 本研究の一部は昭和 50 年度日本水産学会年会 (東京) において講演発表した。

^{*2} 鹿児島大学水産学部漁法学教室 (Laboratory of Fishing Technology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima, Japan).

Table 1. Details of observation and recording, and values calculated that show fishing efficiency

Date and time of observation	Data number	Duration of observation (T)	Mean time interval between each catch	Number of fish caught during recording (F)	Number of crews (N)	Value of $\frac{F}{N\sqrt{T}}$	Gear
Aug. 19 2015	#1	68 min.	0.191 min.	346	8	5.24	Tenbin
Aug. 20 0135	#2	35	1.906	106	8	2.24	
Aug. 20 2015	#3	53	0.203	263	8	4.52	
Aug. 21 0022	#4	31	0.210	139	8	3.12	
Aug. 21 2139	#5	42	0.269	145	7	3.20	
Aug. 25 0004	#6	57	0.297	139	4	4.60	
Aug. 25 2329	#7	52	0.096	239	5	6.63	Pole and line
Aug. 27 2357	#11	64	0.151	419	6	8.73	
Aug. 28 0253	#12	58	0.102	562	6	12.30	
Aug. 28 2142	#13	59	0.094	614	8	9.99	Tenbin
Aug. 29 2013	#8	68	0.215	453	11	4.99	
Aug. 29 2307	#9	78	0.094	818	11	8.42	
Aug. 30 0206	#10	37	0.273	209	11	3.13	
June 18 2139	#14	68	0.259	250	8	3.79	Tenbin
June 18 2251	#15	42	0.434	89	6	2.29	
June 19 2230	#16	54	0.314	172	7	3.34

Fig. 1. Variations of the number of fish caught in a minute versus the observation-time elapsed. The figures (from 9 to 16) accompanied with each time series are the data number shown in Table 1.

$$\text{平均値 } \bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X_i \quad i=1, 2, \dots, M \quad (1)$$

$$\text{共分散 } C_{xx}(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})$$

$$k=0, 1, 2, \dots, h \quad (2)$$

観測時間を 1 時間程度としたので スペクトル分割数を
として計算した。

$$\text{自己相関係数 } R_{xx}(k) = C_{xx}(k)/C_{xx}(0) \quad (3)$$

パワースペクトル

$$P_{xx}(N) = C_{xx}(0) + 2 \sum_{k=1}^{N-1} C_{xx}(k) \cos \frac{\pi N}{h} K + (-1)^N C_{xx}(h)$$

$$N=0, 1, 2, \dots, h \quad (4)$$

これに移行平均⁷⁾を行って最終的なパワースペクトルを
求めた。

$$\hat{P}_{xx}(0) = 0.54 \bar{P}_{xx}(0) + 0.46 \bar{P}_{xx}(1) \quad (5)$$

$$\hat{P}_{xx}(N) = 0.54 \bar{P}_{xx}(N) + 0.23[\bar{P}_{xx}(N-1) + \bar{P}_{xx}(N+1)]$$

$$N=1, 2, \dots, h-1 \quad (6)$$

$$\hat{P}_{xx}(h) = 0.54 \bar{P}_{xx}(h) + 0.46 \bar{P}_{xx}(h-1) \quad (7)$$

また、釣獲時系列の自己回帰モデルを次式とおいた。

$$X(i) = \sum_{m=1}^M A(m)X(i-m) + \varepsilon(i) \quad (8)$$

ただし、

$$E\varepsilon(i) = 0 \quad E\varepsilon(i) \cdot \varepsilon(r) = \delta_{i,r} \sigma^2$$

$$(\delta_{i,r} = 1, (i=r), \delta_{i,r} = 0, (i \neq r); \sigma^2 > 0)$$

計測データ $\{X(i); i=1, 2, 3, \dots, M\}$ について自己回帰
係数 $A(m)$ の最小二乗推定値を (2) 式および次の諸式
によつて求めた。

$$A_{L+1}(L+1) = (\sigma^2(L))^{-1} [C_{xx}(L+1) - \sum_{m=1}^L A_L(m) C_{xx}(L+1-m)] \quad (9)$$

$$(A_0(m)=0, \sigma^2(0)=C_{xx}(0))$$

$$A_{L+1}(m)=A_L(m)-A_{L+1}(L+1)A_L(L+1-m) \\ m=1, 2, \dots, L \quad (10)$$

$$\delta^2(L+1)=\delta^2(L)(1-(A_{L+1}(L+1))^2) \quad (11)$$

$A_L(m)$, δ^2 よりパワースペクトル密度 $Q_{xx}(f)$ ($-1/2 \leq f \leq 1/2$) の推定値 $\hat{Q}_{xx}(f)$ は次式⁹⁾ によつて計算した。

$$\hat{Q}_{xx}(f)=\frac{\sigma^2(L)}{\left|1-\sum_{m=1}^M A_L(m)\exp(-i2\pi fm)\right|^2} \quad (12)$$

この場合に, $X(i)$ の次数を L 次とすると L の推定には

$$FPE(L)=(M+(L+1))(M-(L+1))^{-1}\delta^2(L) \quad (13)$$

により FPE の最小値を与える L を L_0 とし, L_0 に対する $\hat{Q}_{xx}(f)$ を求め推定値とした。

これらの計算には鹿児島大学の FACOM 230 を用いた。

さらに, 1 分, 2 分, 3 分間隔で資料化された観測系列 $X(i)$ を次式によつて移行平均し, De Lury の方法による解析に供した。

$$C_i=0.5 X_{i+1}+0.25(X_i+X_{i+2}) \\ i=1, 2, \dots, M-1 \quad (14)$$

計算結果および考察

フーリエ変換型パワースペクトラムと自己回帰型パワースペクトラムの計算結果を Fig. 2, 3 に示した。両スペクトラムを比較すると, 前者は雑音のため複雑な様相を呈しているが, 後者は雑音が消されて周期成分が明瞭に現れる傾向がある。前者にはすべての資料に周期的現象がみられるが, 後者では #5, #6, #14, #15 に全く周期性が現われない。また, 前者にみられる比較的長い周期成分は後者ではみられない。両者のパワーの峰の一致

Fig. 2. Power spectrum of fluctuation of the number of fish caught in a minute. Closed circle, calculated using Fourier transform method; Open circle, autoregressive fitting model.

Fig. 3. Continued from Fig. 2.

の程度をみると #1~#4, #7, #12 では比較的良く, #8 と #9 では良くない。両者に現われた周期成分の出現頻度をみると5分未満のものが60%を占める。釣獲時系列にみられるこの様な短周期は魚群行動以外に原因が考えられない。黒木・中馬⁸⁾および KAWAMURA⁹⁾ は魚探観察により、マアジとマサバが集魚灯下で活発に遊泳運動することを報告しているが、ゴマサバも同様に、集魚灯下周辺域を活発に動くと考えられる。この魚群行動を事前に知つていれば、いずれのパワースペクトラムが魚群行動をより良く反映しているか推測できるが、魚群行動について何ら知識を持たないので、総ての資料に周期成分が現われるフーリエ変換型パワースペクトラムの計算結果についてさらに検討を進める。

雑音の中から明瞭な周期性を識別するために、次式で求められる変異係数⁴⁾で周期性の確認をした。

$$\hat{P}_{xx}(f) \text{ の変異係数 } = \sqrt{\frac{h\Delta t}{M\Delta t}} \quad (15)$$

ただし、 $M\Delta t$ は観測資料の長さである。また、次式により釣獲効率 CE を定義し (Table 1), これと周期成分の分布の関係をみた (Fig. 4)。

$$CE = \frac{F}{N\sqrt{T}} \quad (16)$$

ただし、 F は釣獲尾数、 N は釣手数、 T は記録時間(分)である。

はね釣り (#11~#13) の場合には天秤釣りにみられない6~10分の周期があり、天秤で釣られる中層遊泳群とはね釣りで漁獲される表層浮上群の行動が異なることが推測される。浮上群が集魚灯下を活発に遊泳すると、沈下と浮上を頻繁に繰り返すのが目視されたが、6~10分の周期が表層の水平的遊泳運動に起因するとは考えられないので、魚群の鉛直的な移動に起因するかも知れない。

釣獲成績と周期成分の分布の関数は、成績が上位のものは周期成分が短く、下位になる程度長くなる傾向にあ

Fig. 4. Relationship between the rank of the fishing efficiency and the frequencies. The data are arranged according to the rank, the top being most efficient. The larger closed circle shows significant frequencies and the smaller one shows non-significant but dominant frequencies.

Fig. 5. Relationships between catch in each unit time C_i and cumulative catch K_j .

Fig. 6. Distribution of peak-to-peak time intervals observed in C_i - K_j relationships, basing on the variation of the number of fish caught in a minute. Upper figure shows the distribution of the time intervals (closed circle) and the frequency observed in the spectrum analysis (open circle). Data are arranged according to the rank. Histograms show the frequency distribution of the time intervals.

Fig. 7. Distribution of peak-to-peak time intervals observed in C_i - K_j relationships. Left, basing on the variation of the number of fish caught in two minutes; Right, in three minutes.

る。このことから、良く釣れる時の魚群程遊泳運動の範囲が狭いか、行動が活発であることが推測される。

一方、20分、30分の長い周期は魚群の遊泳運動では説明し難い。釣獲量変動に影響する要因は遊泳運動の他に、操業中の魚群の分離や別群の来遊加入などが考えられる。その可能性を De LURY の方法で吟味するために、単位時間当りの釣獲尾数 C_i と積算釣獲尾数 K_j の関係を Fig. 5 に示した。

集魚灯下に滞留する魚群を釣獲し続けた場合、別群の来遊加入がない時には K_j の増加に伴って C_i が減少するはずであるが、 C_i は減少と増加を交互に繰り返す。この傾向は図示した4例のみでなく、全資料で同様である。今、操業中に群の交替あるいは別群の来遊加入があったために C_i が増加したと考えると、 C_i の一つの峰が魚群の船下への到達を意味し、それから次の谷までがその群を釣獲し続けたことになる。峰と峰の間隔時間を C_i の変動でみると、6分以内の間隔が占める割合は、単位時間1分の場合に約90%、2分では約70%となる (Fig. 6, 7)。これは、釣獲対象魚群が6分以内に頻繁に変わることになり、 C_i の変動が魚群の交替や別群の来遊加入に主として起因するという考えには無理があ

ることが分る。

次に、 C_i の変動が魚群運動に起因すると考えると、 C_i の峰と峰の時間間隔が魚群の出現時間間隔を示すことになる。1分ごとの C_i の変動に現われる時間間隔はパワースペクトラムに現われる周期成分よりも長い、変動の原因が魚群運動と考えてもさほど無理はない。しかし、単位時間を2分、3分にとつて大まかな変動をみると、魚群運動では説明困難な20分以上の間隔がめだつようになる。そして、単位時間を長くすると従って、釣獲成績の低い資料の時間間隔が長くなるというパワースペクトラムに現われた傾向が明瞭にみられる。

これまでの3種の時系列解析から釣獲の変動の原因の大部分は集魚灯下の魚群運動で説明可能であるが、説明できない部分もある。この部分は操業中の別群の来遊加入や群の交替の可能性を含むが、釣獲時系列の解析から魚群運動の情報をこれ以上得ることができないので、集魚灯に集まつたゴマサバ群は集魚灯下とその周辺域を3次元的に活発に遊泳運動をすることの確認にとどめたい。そして、集魚灯下の海中は十分明るいにもかかわらず魚の網膜が明順応しないのは、この魚群の遊泳運動が原因であると結論される。

終りに、時系列解析について御指導を賜わった北海道大学教授川島利兵衛博士，同学教授久新健一郎博士，同学教授鈴木恒由博士，釣獲資料の記録に御協力賜わった屋久島，一湊の故真辺 平氏，宝幸水産株式会社木村春樹氏に深謝申し上げます。

文 献

- 1) 川村軍蔵：日水誌，**45**，667-671 (1979).
- 2) 小倉通男：日水誌，**38**，890-894 (1972).
- 3) 羽生 功：日水誌，**38**，919-920 (1972).
- 4) 赤池弘次：相関函数およびスペクトル（磯部 孝編），東京大学出版会，東京，1968，pp. 28-46.
- 5) 赤池弘次・中川東一郎：ダイナミックシステムの統計的解析と制御，サイエンス社，東京，1972，pp. 50-54.
- 6) 久保伊津男・吉原友吉：水産資源学，共立出版，東京，1966，pp. 166-169.
- 7) F. PASQUILL: Atmospheric Diffusion, D. Van Nostrand, London, 1962, pp. 20.
- 8) 黒木敏郎・中馬三千雄：鹿大水紀要，**6**，95-68 (1958).
- 9) G. KAWAMURA: *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **40**, 27-34 (1974).